

⑩ 日本国特許庁(JP)

⑪ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

昭60-142300

⑬ Int.Cl.⁴

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 昭和60年(1985)7月27日

G 21 K 4/00

6656-2G

G 01 T 1/24

8105-2G

H 01 L 31/00

8105-2G

7216-5F

審査請求 未請求 発明の数 2 (全5頁)

⑮ 発明の名称 蛍光板及び放射線検出素子

⑯ 特 願 昭58-252111

⑰ 出 願 昭58(1983)12月28日

⑱ 発 明 者 澤 田 良 一 京都市中京区西ノ京桑原町1番地 株式会社島津製作所三条工場内

⑲ 出 願 人 株式会社島津製作所 京都市中京区河原町通二条下ルノ船入町378番地

⑳ 代 理 人 弁理士 野口 繁雄

明 細 書

1. 発明の名称

蛍光板及び放射線検出素子

2. 特許請求の範囲

(1) 1枚又は2枚以上重ねられたシリコン基板に面に垂直な方向の方向性のよい多数の貫通孔が開けられており、該貫通孔には蛍光体が封入されていることを特徴とする蛍光板。

(2) 1枚又は2枚以上重ねられたシリコン基板に面に垂直な方向の方向性のよい多数の貫通孔が開けられており、該貫通孔には蛍光体が封入されている蛍光板と、

該蛍光板に接着された一次元又は二次元の半導体光検出素子と、を備えたことを特徴とする固体放射線検出素子。

(3) 前記蛍光板の片面のみに半導体光検出素子が接着されている特許請求の範囲第2項に記載の放射線検出素子

(4) 前記蛍光板の面のうち半導体光検出素子が接着されていない面には光反射膜が形成されてい

る特許請求の範囲第3項に記載の放射線検出素子。

(5) 前記蛍光板の両面に半導体光検出素子が接合されている特許請求の範囲第2項に記載の放射線検出素子。

3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明はX線、 γ 線、 α 線又は β 線などの放射線を一次元的又は二次元的に検出する蛍光板と、固体放射線検出素子に関する。

(従来技術)

X線CT(コンピュータトモグラフィ)やポジトロンCTで用いられる放射線検出素子、又は放射線の一次元的もしくは二次元的イメージセンサとしては、例えば第1図に示されるように、光電子倍增管1の入射面に単結晶シンチレータ2を接合した素子を多数配列したものが使用されている。しかし、この検出素子では、光電子倍增管1の小型化に限界があるため分解能が数mmと低く、また、大きな空間を必要とする不便な点もある。

他の放射線検出素子の例としては、第2図に示

されるように、多数の単結晶シンチレータ3をしきい板4を介して接着し、これを光検出素子としてのフォトダイオードアレイ5を接着したのも使用されている。しかし、この検出素子では単結晶シンチレータ3を1個ずつ接着していかなければならないため多くの製造工程を必要とし、また、分解能も低く0.5mm程度が限界である。更に、このような単結晶シンチレータを二次元的接着することは困難であるという問題もある。

他にも、例えばXe電離箱を使用したものやビジコンもしくは微像管を使用したものもある。しかし、前者のXe電離箱を使用したものでは、二次元化が困難である上、耐電圧及び耐圧力対策も必要となる。しかも分解能も1mm程度と低い問題もある。後者のビジコン等を使用したものでは、高価である上、製作が困難である問題もある。しかも、この場合にも分解能が低く、大型化する問題もある。

(目的)

本発明は、製作が容易で、小型化が可能であり、

高い分解能をもって一次元的又は二次元的イメージセンサに使用できる蛍光板と、その蛍光板を使用した固体放射線検出素子を提供することを目的とするものである。

(構成)

本発明の蛍光板は、1枚又は2枚以上重ねられたシリコン基板に面に垂直な方向の方向性のよい多数の貫通孔が開けられ、それらの貫通孔に蛍光体が封入されて構成されたものである。

本発明の蛍光板ではシリコン基板を用いるので、異方性エッチング法により貫通孔を方向性よく、しかも高密度に開けることが容易である。

また、本発明の放射線検出素子は、上記の蛍光板に半導体光検出素子が接着されて構成されたものである。

以下、実施例により本発明を詳細に説明する。

(実施例)

第3図は本発明の一実施例の要部を表わし、10は蛍光板、20はその蛍光板10に接着される半導体光検出素子である。

蛍光板10では、シリコン基板11に表から裏に貫通する方向性のよい孔12が多数開けられており、その貫通孔12にはシンチレータとしての蛍光体13が封入されている。

貫通孔12は方向性をよくするために後述の如き異方性エッチング法により開口され、そのためシリコン基板11は〈100〉の面方位をもっている。

貫通孔12に封入される蛍光体としては、 $ZnS(Ag)$ 、 $ZnS(Cu)$ 、もしくは $Gd_2O_3S(Pr, Ce, F)$ などの粉末シンチレータ、又は $NaI(Tl)$ 、 $CsI(Tl)$ 、 $CsI(Na)$ 、 $KI(Tl)$ 、 $LiI(Eu)$ もしくは CsF などの比較的融点($m.p. = 500 \sim 700^\circ C$)のシンチレータを溶かし込んだものであってもよい。これらの蛍光体は被測定線種により選択して使用すればよい。例えば、 α 線や中性子線には $ZnS(Ag)$ や $LiI(Eu)$ が適当であり、 γ 線やX線には $Gd_2O_3S(Pr, Ce, F)$ 、 $NaI(Tl)$ や CsI

などが適当である。

この蛍光板10は、第3図のように溝形の貫通孔12を一次元的に配列したものであってもよいし、第4図のように円形の貫通孔14を二次元的に配列したものであってもよく、更には、他の形状の貫通孔を一次元的又は二次元的に配列したものであってもよい。

シリコン基板11の厚さは、 α 線や中性子線のような透過力の小さい放射線を測定する場合には薄くてもよく、 γ 線やX線のような透過力の大きい放射線を測定する場合には厚くすればよい。しかし、シリコン基板11があまり厚くなると貫通孔12、14を方向性よく開けることが困難になるため、適当な厚さのシリコン基板11を用いて形成された蛍光板10を2枚以上接着して重ねて使用すればよい。

この蛍光板10を用いて固体の放射線検出素子を形成するには、第3図に示されるように、半導体光検出素子20を接着剤により接着すればよい。

半導体光検出素子20としては、フォトダイオー

ドをアレイ状に配列したもの、又はCCD型、MOS型、CID型、SIT型、PCD型、CPD型もしくはBBID型のイメージセンサを用いることができる。このような半導体光検出素子20の光検出部21は、蛍光板10の貫通孔12、14の形状と配列に対応して、一次元的又は二次元的に配列されている。

接着剤にはエポキシ系、ポリエステル系などの光透過性接着剤を使用すればよい。

本実施例の放射線検出素子では、蛍光板10に入射したX線等の放射線は、貫通孔12、14中で蛍光体13にシンチレーション効果を起こさせて発光させる。その光が半導体光検出素子20により検出されることにより、入射放射線の位置と強度が検出される。

第5図は本発明放射線検出素子の他の実施例を表わす。蛍光板10の一方の面には半導体光検出素子としてN型基板22にP層の光検出層21が形成されたフォトダイオードアレイ23が接着剤30により接着されており、蛍光板10の他方の

面、すなわち放射線入射側の面には光反射膜40が形成されている。24はフォトダイオードアレイ23のパッシベーション用SiO₂膜である。

光反射膜40としてはアルミニウムや金の蒸着膜、又はTiO₂やBaSO₄などの白色ペイントの塗布膜が適当である。

本実施例では放射線入射により蛍光体13から発光された光は、フォトダイオードアレイ23の光検出層21へ向かって発光された光は勿論のこと、光検出層21と反対方向へ向って発光された光も光反射膜40により反射されて光検出層21で受光されるため、放射線検出感度が増大する利点がある。

第6図は本発明放射線検出素子の更に他の実施例を表わす。

本実施例では蛍光板10の両面に半導体光検出素子としてのフォトダイオードアレイ23が接着されている。

この場合、蛍光体13からの発光はいずれかのフォトダイオードアレイ23の光検出層21で受

光されるので、第5図の実施例と同様に放射線検出感度の高い利点がある。ただし、この場合蛍光板10の放射線入射側にもフォトダイオードアレイ23が接着されているので、γ線やX線などのような透過力の高い放射線を測定する場合に有効である。

次に、一実施例の製造方法を第7図により説明する。

<100>の面方位をもつシリコンウエハの基板11に、通常の熱酸化法により両表面に酸化膜(SiO₂)15を形成する(第7図(A))。

次に、貫通孔を開ける部分の酸化膜15をリソグラフィ技法により除去して開口16を形成する(同図(B))。この例では後の工程の異方性エッチングでサイドエッチングを少なくするために、両表面の酸化膜15をエッチングしているが、片面の酸化膜15のみをエッチングしてもよい。

次に、パターン化された酸化膜15をマスクとしてシリコン基板11に異方性エッチングを施し、貫通孔12を開ける(同図(C))。異方性

エッチングは、シリコン基板11の面に垂直な方向のエッチング速度が面に平行な方向のエッチング速度よりも大きいような手段を採用すればよい。異方性エッチングは、EPW(エチレンジアミン、ピロカテコール及び水が適当な割合で混合された溶液)やアルカリエッチング液(例えばKOH溶液)などの異方性エッチング液を用いた化学エッチング法、又はリアクティブエッチングなどのドライエッチング法により行なえばよい。EPWを用いたシリコン基板のエッチング速度は面方位により異なり、

$$\langle 100 \rangle : \langle 110 \rangle : \langle 111 \rangle = 50 : 3 : 1$$

であるので、本実施例のように<100>シリコン基板11をEPWでエッチングすれば、貫通孔は面に垂直な方向に方向性のよい貫通孔となる。

このように形成された貫通孔12に蛍光体13を粉末状態で、又は溶かし込むことにより封入する(同図(D))。このようにして本発明蛍光板10が形成される。

次に、この蛍光板10に接着剤30によりフォ

トダイオードアレイ23のような半導体光検出素子を接合すれば、本発明放射線検出素子の一実施例が形成される。

(効果)

本発明の蛍光板はシリコン基板を用いるので、貫通孔を高密度に、方向性よく開けることができ、しかも貫通孔をリソグラフィ法により開けることができるのでその工程は容易である。そしてそのような蛍光板を用いた本発明の放射線検出素子は、高分解能をもち、小型化が容易で、一次元又は二次元のセンサーとすることも容易である。

4. 図面の簡単な説明

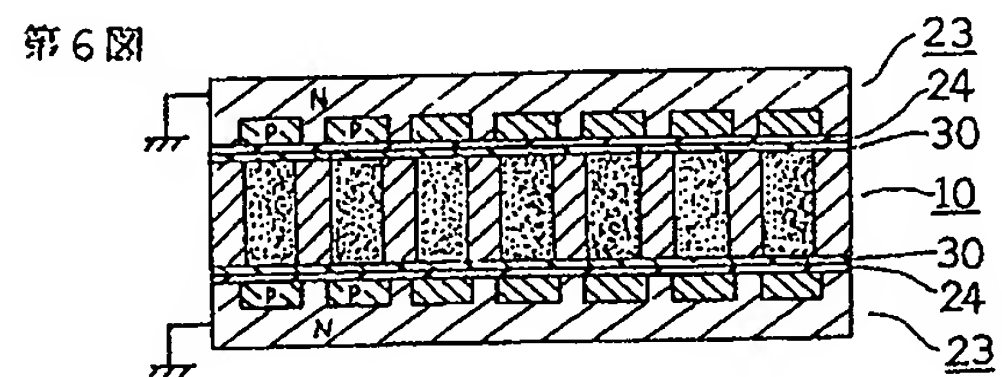
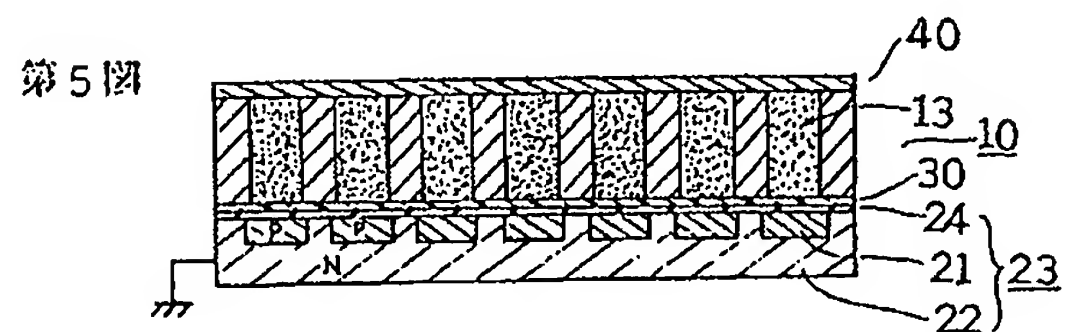
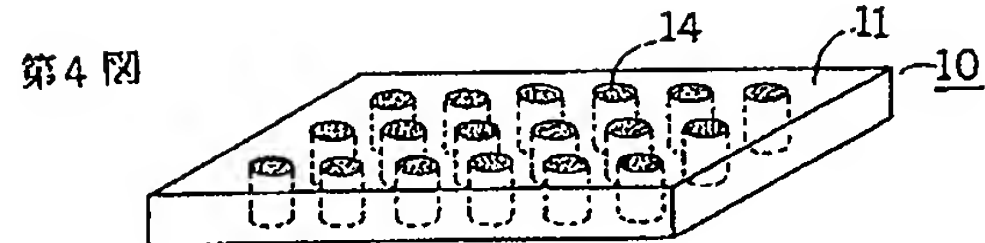
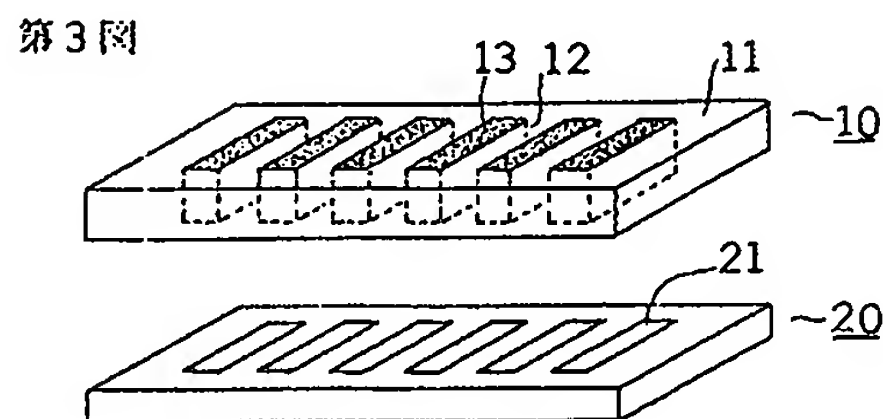
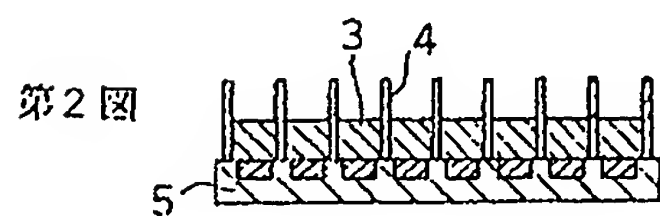
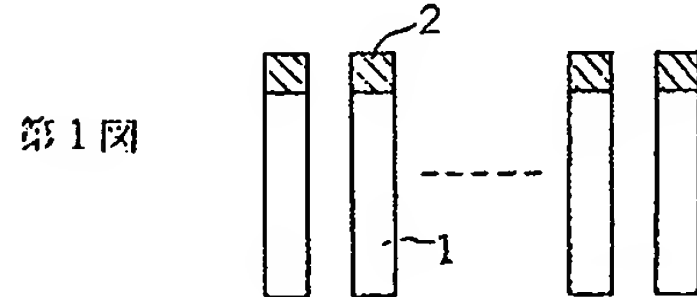
第1図及び第2図はそれぞれ従来の放射線検出素子を示す断面図、第3図は本発明の蛍光板及び放射線検出素子の一実施例を示す要部の分解斜視図、第4図は本発明の蛍光板の他の実施例を示す斜視図、第5図及び第6図はそれぞれ本発明放射線検出素子の他の実施例を示す断面図、第7図(A)ないし同図(E)は一実施例の蛍光板及び放射線検出素子の製造工程を断面図で示す図である。

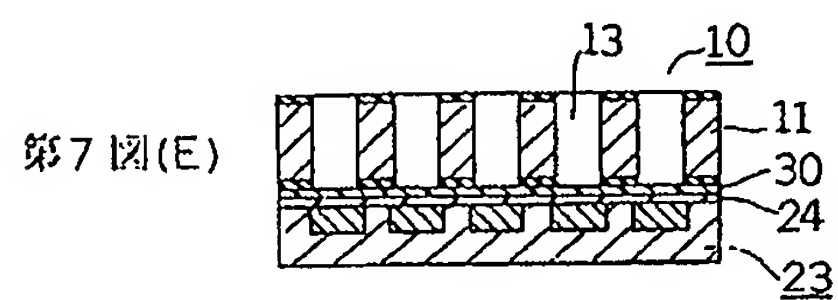
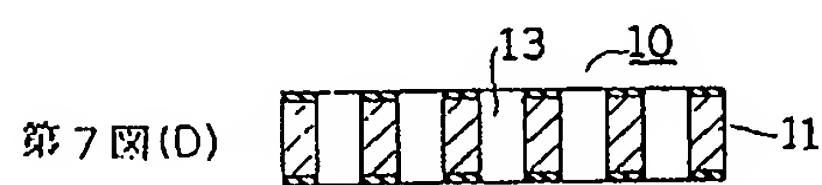
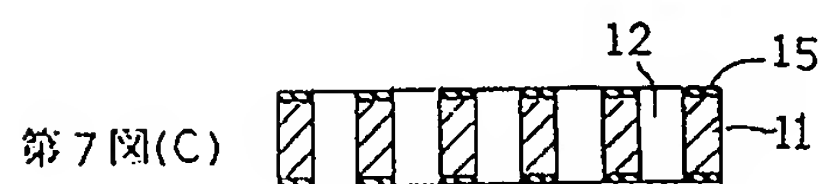
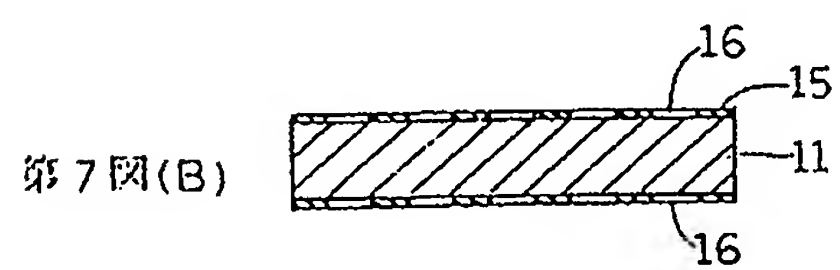
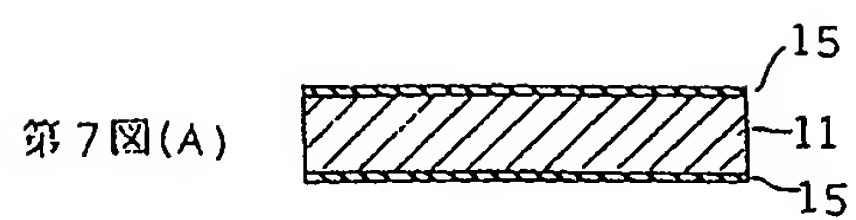
る。

- 10 …… 蛍光板、 11 …… シリコン基板、
- 12 …… 貫通孔、 13 …… 蛍光体、
- 12 …… 半導体光検出素子、
- 23 …… フォトダイオードアレイ、
- 30 …… 接合剤、

特許出願人 株式会社島津製作所

代理人 弁理士 野口繁雄





(19) Japan Patent Office (JP)
(12) Patent Application Laid-Open Gazette (A)
(11) Patent Application Laid-Open No.: 60-142300
(43) Laid-Open Date: July 27, 1985
(51) Int.CI.: G21K 4/00; G01T 1/24, 1/29; H01L 31/00
(54) Title of the Invention: Fluorescent Screen and Radiation Detection
Device
(21) Application No.: 58-252111
(22) Application Date: December 28, 1983
(72) Inventor: Ryoichi Sawada
C/O, Sanjo Factory of SHIMADZU CORPORATION
No. 1, Nishinokyokuwabaramachi, Nakagyo-ku, Kyoto
(71) Applicant: SHIMADZU CORPORATION
No. 378, Ichinofunairimachi, Kawaramachidori-
nijokudaru, Nakagyo-ku, Kyoto
(74) Agent/Patent Attorney: Shigeo Noguchi

CLAIMS/SPECIFICATION

1. TITLE OF THE INVENTION:

FLUORESCENT SCREEN AND RADIATION DETECTION DEVICE

2. CLAIMS:

(1) A fluorescent screen characterized in that a number of through holes with high directivity in a direction perpendicular to a surface of one silicon substrate or two or more stacked silicon substrates are formed and a fluorescent material is sealed into the through holes.

(2) A solid-state radiation detection device comprising:

a fluorescent screen in which a number of through holes with high directivity in a direction perpendicular to a surface of one silicon substrate or two or more stacked silicon substrates are formed and a fluorescent material is sealed into the through holes; and

a one- or two-dimensional semiconductor photodetector element bonded to the fluorescent screen.

(3) The radiation detection device according to claim 2, wherein the semiconductor photodetector element is bonded to only one side of the fluorescent screen.

(4) The radiation detection device according to claim 3, wherein a light reflecting film is formed on a surface of the fluorescent screen to which the semiconductor photodetector element is not bonded.

(5) The radiation detection device according to claim 2, wherein the semiconductor photodetector elements is bonded to every surface of the fluorescent screen.

3. DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION:

[Field of the Invention]

The present invention relates to a fluorescent screen for one- or two-dimensionally detecting radiation such as X-rays, γ -rays, α -rays or β -rays and to a solid-state radiation detection device.

[Prior Art]

As shown in FIG. 1, a number of elements formed by bonding a single crystal scintillator 2 to an incidence surface of a photomultiplier 1 are used as a radiation detection device used in X-ray computed tomography CT or positron CT, or as one- or two-dimensional radiation image sensor. This detector has a resolution of as small as several millimeters because of the limitation on downsizing the photomultiplier 1 and requires a large space as well.

FIG. 2 shows an example of another radiation detection device, which is so structured that a number of single crystal scintillators 3 bonded via partition plates 4 are bonded to a photodiode array 5 as a photo detector. This detector requires a number of manufacturing steps because the single crystal scintillator 3 needs bonding one by one and its resolution is as small as 0.5 millimeters. Furthermore, there has been a problem that it is difficult to two-dimensionally bond a single crystal scintillator.

In addition to the above, there is another radiation detection device using for example a Xe ionization chamber, vidicon or image pickup tube. However, it is difficult to apply the former radiation detection device using the Xe ionization chamber to a two-dimensional detection and it needs measures for voltage endurance and pressure resistance as well. Furthermore, its resolution is as small as 1 millimeter. The latter detector using a vidicon or the like is expensive, hard to produce, smaller in resolution, and bulky.

[Object]

An object of the present invention is to provide a fluorescent screen which is easy to produce, possible to be downsized, has a higher resolution, and is applicable to one- or two-dimensional image sensor, and a solid-state radiation detection device using the fluorescent screen.

[Constitution]

The fluorescent screen according to the present invention is constructed in such a manner that a number of through holes are formed in a surface of one silicon substrate or two or more stacked silicon substrates, the through holes having high directivity in a direction perpendicular to the surface, and a fluorescent material is sealed in the through holes.

In the fluorescent screen according to the present invention, use of a silicon substrate facilitates forming through holes in a high density configuration and with high directivity by an anisotropic etching process.

The radiation detection device according to the present invention is constructed by bonding a semiconductor photodetector element to the above fluorescent screen.

The present invention is described in detail below with reference to examples.

[Examples]

FIG. 3 shows a principal portion of an example according to the present invention. Reference numeral 10 denotes a fluorescent screen and reference numeral 20 denotes a semiconductor photodetector element bonded to the fluorescent screen 10.

In the fluorescent screen 10, a large number of holes 12 having high directivity passing through from one side to the other of a silicon substrate 11 are formed therein. A fluorescent material 13 as a scintillator is sealed in the through holes 12.

The through holes 12 are formed by the anisotropic etching method described later in order to provide excellent directivity therefor, for this reason, the silicon substrate 11 has a plane orientation $\langle 100 \rangle$.

As a fluorescent material sealed in the through holes 12, a powdered scintillator such as $\text{ZnS}(\text{Ag})$, $\text{ZnS}(\text{Cu})$, or $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}(\text{Pr}, \text{Ce}, \text{F})$ may be used, alternatively, a scintillator with a relatively low melting point (m.p. = 500°C to 700°C) such as $\text{NaI}(\text{Tl})$, $\text{CsI}(\text{Tl})$, $\text{CsI}(\text{Na})$, $\text{KI}(\text{Tl})$, $\text{LiI}(\text{Eu})$, or CsF may be melt therein. The fluorescent material can suitably be selected depending on the kind of a ray used for the measurement. For example, $\text{ZnS}(\text{Ag})$ and $\text{LiI}(\text{Eu})$ are suitable to measurement using α -ray or neutron beam. $\text{Gd}_2\text{O}_2\text{S}(\text{Pr}, \text{Ce}, \text{Fe})$, $\text{NaI}(\text{Tl})$ and CsI are suitable to measurement using γ -ray or X-ray.

The fluorescent screen 10 may be formed by one-dimensionally arranging through holes 12 having a rectangular sectional shape as shown in FIG. 3 or by two-dimensionally arranging through holes 14 having a circular sectional shape as shown in FIG. 4, alternatively, by one- or two-dimensionally arranging through holes having other kinds of sectional shapes.

The silicon substrate 11 may have a small thickness when a radiation with a small penetrating power such as α -ray or neutron beam is used for measurement, on the other hand, it may be made thick when a radiation of a large penetrating power such as γ -ray or X-ray is used for measurement. However, if the silicon substrate 11 is too thick, it becomes difficult to form through holes 12, 14 with high directivity, and in such a case, it is preferred that two or more fluorescent screens 10 formed by using silicon substrates 11 with a suitable thickness are bonded to and stacked on each other.

In order to form a solid-state radiation detection device by using the fluorescent screen 10, it is preferable to bond a semiconductor photodetector element 20 to the fluorescent screen 10 by means of an adhesive as shown in FIG. 3.

As the semiconductor photodetector element 20, a photodiode array, or CCD-, MOS-, CID-, SIT-, PCD-, CPD-, or BBD-type image sensor may be used. Photodetector portions 21 of the semiconductor photodetector element 20 are one- or two-dimensionally arranged corresponding to the shape and arrangement of the through holes 12, 14 of the fluorescent screen 10.

It is preferable to use an epoxy- or polyester-based light transmissive adhesive as the adhesive.

In the radiation detection device according to the present example, a radiation such as X-ray incident on the fluorescent screen 10 causes the fluorescent material 13 in the through holes 12, 14 to exhibit a scintillation effect to thereby emit light. By detecting the light with the semiconductor photodetector element 20, the position and strength of the incident radiation can be detected.

FIG. 5 shows another example of the radiation detection device according to the present invention. A photodiode array 23 as a semiconductor photodetector element in which a P-type photodetector layer 21 is formed in an N-type substrate 22 is bonded to one surface of the fluorescent screen 10 with an adhesive 30, and a light reflecting film 40 is formed on the other surface of the fluorescent screen 10, that is to say, on the surface upon which a radiation is to be incident. Reference numeral 24 denotes a SiO_2 film for passivation of the photodiode array 23.

As the light reflecting film 40, there may suitably be used an evaporated film of aluminum or gold, or a coated film of a white paint of TiO_2 or BaSO_4 .

In the present example, for the light emitted from the fluorescent material 13 by radiation incidence, the light emitted toward the photodetector layer 21 of the photodiode array 23 is received by the photo detector layer 21, and in addition thereto, the light emitted in the opposite direction is reflected by the light reflecting film 40 and is also received by the photo detector layer 21, thereby providing the advantage of increasing the radiation detection sensitivity.

FIG. 6 shows still another example of the radiation detection device according to the present invention.

In the present example, photodiode arrays 23 as semiconductor photodetector elements are bonded on the both surfaces of the fluorescent screen 10.

This case also provides the advantage of increasing the radiation detection sensitivity as is the case with the example shown in FIG. 5, because the light emitted from the fluorescent material 13 is received by either photo detector layer 21 of the photodiode arrays 23. In this case, since the photodiode array 23 is bonded also to the radiation incidence side of the fluorescent screen 10, this configuration is

suitable for measurement using a radiation with a large penetrating power such as γ -ray or X-ray.

The production process for one example is described below with reference to FIG. 7.

Oxide films (SiO_2) 15 are formed on both surfaces of a silicon wafer substrate 11 with a plane orientation of $\langle 100 \rangle$ by a conventional thermal oxidation (FIG. 7(A)).

In the next place, portions of the oxide films 15 positioned at locations where through holes are to be formed are removed by a lithography technique to form openings 16 (FIG. 7(B)). In this example, although the oxide films 15 on the both surfaces of the substrate are etched in order to reduce side etching in an anisotropic etching in a subsequent step, only the oxide film 15 on one surface thereof may be etched.

Then, an anisotropic etching is applied on the silicon substrate 11 by using the patterned oxide films 15 as masks to thereby form through holes 12 (FIG. 7(C)). As the anisotropic etching, it is preferable to adopt such means that the etching speed in the direction perpendicular to the surface of the silicon substrate 11 is higher than that in the direction parallel to the surface thereof. The anisotropic etching includes a chemical etching method using an anisotropic etching liquid such as EPW (a solution made by mixing ethylenediamine, pyrocatechol, and water at a proper ratio) or an alkaline etching liquid (for example, KOH solution), or a dry etching method such as a reactive etching. Since the speed of etching a silicon substrate when using EPW varies depending on the plane orientation as follows:

$$\langle 100 \rangle : \langle 110 \rangle : \langle 111 \rangle = 50 : 3 : 1,$$

the etching of the silicon substrate 11 with a $\langle 100 \rangle$ silicon substrate using EPW as carried out in the present example makes it possible to form through holes having excellent directionality in the direction perpendicular to the surface.

The fluorescent material 13 is sealed as a powder state or as molten state into the through holes 12 formed in such a manner (FIG. 7(D)). Thus, the fluorescent screen 10 according to the present invention is formed.

Next, by bonding a semiconductor photodetector element such as the photodiode array 23 to the fluorescent screen 10 by the adhesive 30, an example of the radiation detection device according to the present invention is formed.

[Effect]

Since the fluorescent screen according to the present invention uses a silicon substrate, it is possible to form therein a number of through holes in a high density with high directionality. Furthermore, since the through holes can be made by the lithography technique, the process steps are simple. The radiation detection device according to the present invention using the fluorescent screen has high resolution, is easy to downsize and applicable to a one- or two-dimensional sensor.

4. BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS:

FIGS. 1 and 2 are cross-sectional views showing conventional radiation detection devices; FIG. 3 is an exploded perspective view showing a principal portion of one example of the fluorescent screen and radiation detection device according to the present invention; FIG. 4 is a perspective view showing another example of the fluorescent screen according to the present invention; FIGS. 5 and 6 are cross-sectional views showing other embodiments of the radiation detection devices according to the present invention; and FIGS. 7(A) to 7(E) are cross-sectional views showing the production steps for one example of the fluorescent screen and the radiation detection device according to the present invention.

10 ... FLUORESCENT SCREEN; 11 ... SILICON SUBSTRATE,
12 ... THROUGH HOLE; 13 ... FLUORESCENT MATERIAL,
12 ... SEMICONDUCTOR PHOTODETECTOR ELEMENT;
23 ... PHOTODIODE ARRAY;
30 ... ADHESIVE

Applicant: SHIMADZU CORPORATION
Agent/Patent Attorney: Shigeo Noguchi